姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡生长性能、血清抗氧化功能、肠道微生物数量和免疫器官指数的影响

孙全友　李文嘉*　徐　彬　魏凤仙　王琳燚　蔺　萍　李绍钰**

（河南省农业科学院畜牧兽医研究所，郑州 450002）

摘　要：本试验旨在研究姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡生长性能、血清抗氧化功能、肠道微生物数量和免疫器官指数的影响。选用 1 日龄爱拔益加（AA）肉鸡 450 只，随机分为 5 组，每组 6 个重复，每个重复 15 只鸡。对照组饲喂基础饲粮，试验组饲喂在基础饲粮中分别添加 35 mg/kg 抗生素（D1 组）、200 mg/kg 姜黄素（D2 组）、100 mg/kg 地衣芽孢杆菌（D3 组）和 200 mg/kg 姜黄素+100 mg/kg 地衣芽孢杆菌（D4 组）的试验饲粮。试验期 42 d。结果表明：1）与对照组相比，各试验组平均日增重显著升高（$P<0.05$），D1 组平均日增重及末重均显著高于 D2、D3 组（$P<0.05$），而与 D4 组差异不显著（$P>0.05$）；D1、D4 组料重比显著低于对照组（$P<0.05$）。2）与对照组和 D1 组相比，D2、D3 和 D4 组均能显著提高血清中的超氧化物歧化酶（D3 组除外）、谷胱甘肽过氧化物酶和溶菌酶活性（$P<0.05$）；D2、D3 和 D4 组血清中丙二醛含量显著低于对照组（$P<0.05$）。3）与对照组相比，D4 组肠道中乳酸杆菌和双歧杆菌的数量显著升高（$P<0.05$），各试验组间无显著差异（$P>0.05$）;D1 和 D4 组肠道中大肠杆菌和沙门氏菌数量显著降低（$P<0.05$）。4）与对照组相比，D4 组的脾脏和法氏囊指数显著升高（$P<0.05$）。结果提示，姜黄素和地衣芽孢杆菌单独或联合使用均能提高肉鸡的生长性能和免疫功能及肠道微生物环境，联合使用的效果要优于单独使用，二者之间存在一定的协同作用。

收稿日期：2018-01-04
基金项目：现代农业产业技术体系建设专项资金（CARS-41）；河南省财政预算项目（豫财预[2017]76-14）
作者简介：孙全友（1975-），男，河南渑池人，副研究员，从事动物营养及畜禽健康养殖研究。E-mail： sqy1128@126.com
*同等贡献作者
**通信作者：李绍钰，研究员，硕士生导师，E-mail： lsy9617@aliyun.com

关键词：肉鸡；姜黄素；地衣芽孢杆菌；免疫器官；肠道微生物
中图分类号：S816.7

随着社会的快速发展，我国居民生活水平逐步提高，人均消费肉蛋类所占比重越来越大。肉鸡养殖业在当今我国畜牧业生产中占有重要比重，年出栏量约为 70 亿只，同时也是畜牧业中肉、蛋、奶生产的重要组成部分。为了提高生产效率和维持动物健康，通常在饲料中添加低于治疗剂量的抗生素作为生长促进剂（AGPs）[1]。近年来伴随着人们对抗生素作用研究的逐渐深入，其弊端日益突显，主要表现为：抗生素在发挥抑制和杀灭病原菌作用的同时也抑制甚至杀灭了体内的有益菌群，引起动物体内胃肠菌群的失衡；抗生素的大量和长期使用易使动物机体产生耐药性；动物排泄物残留及摄食含有抗生素的动物产品，最终导致抗生素通过食物链汇集于人体内，从而直接危害到人类健康。因此，有效的办法是找到能增强动物自然防御功能的物质，以避免抗生素的大量使用[2]。

姜黄素（curcumin）在食品行业中是一种重要的添加剂，可用作抗氧化剂防止食物腐败变质[3]。研究还发现，姜黄素具有广泛的药理作用。Sa 等[4]报道姜黄素对多种疾病都有预防和治疗作用；Priyadarsini 等[5]和 Miriyala 等[6]研究认为姜黄素可以阻断自由基反应，并清除体内多余的自由基；Hatcher 等[7]也指出姜黄素是一个自由基清除剂和氢供体，显示出了亲氧化剂和抗氧化剂双重活性。姜黄素的这些独特生理功能使其成为一种新型的功能性饲料添加剂。地衣芽孢杆菌（*Bacillus licheniformis*）是益生菌中的一种，其具有调节动物微生态平衡、降低肠道疾病、提高机体免疫功能、促进肠道有益菌生长、改善畜产品品质等作用。张菊等[8]研究指出，地衣芽孢杆菌在生长代谢过程可产生多种抗菌物质，对常见的致病菌均有较强的抑制作用。Benyacoub 等[9]报道芽孢杆菌能刺激机体免疫系统，提高机体免疫功能，是良好的免疫促进剂。

因此，除了建立适合畜禽生长的环境、配备正确的卫生和生物安全措施外，饲喂营养高效的饲料并添加合理的功能性添加剂也尤为重要。本试验拟通过在肉鸡饲粮中添加姜黄素和

地衣芽孢杆菌，研究姜黄素和地衣芽孢杆菌单独或联合使用对肉鸡生长性能、免疫器官指数、血清抗氧化功能和肠道微生物数量的影响，为其进一步的推广与应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验选取 450 只 1 日龄爱拔益加（AA）肉鸡（43.15±0.17） g，由开封禾丰牧业有限公司提供，随机分成 5 组，每组 6 个重复，每个重复 15 只鸡，各组体重无显著差异（P>0.05）。参照《肉鸡饲养标准》（NY/T 33-2004）配制粉状配合饲料作为基础饲粮，其组成及营养水平见表 1。对照组饲喂基础饲粮，试验组饲喂在基础饲粮中分别添加 35 mg/kg 抗生素（D1 组）、200 mg/kg 姜黄素（D2 组）、100 mg/kg 地衣芽孢杆菌（D3 组）、100 mg/kg 地衣芽孢杆菌+200 mg/kg 姜黄素（D4 组）的试验饲粮。饲养试验于河南省农业科学院尉氏养殖基地进行，试验期为 42 d。饲养试验期间肉鸡自由采食，充足饮水，按正常免疫程序进行免疫接种。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content	
	1～21 日龄 1 to 21 days of age	22～42 日龄 22 to 42 days of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	60.00	62.00
豆粕 Soybean meal	34.30	30.50
豆油 Soybean oil	2.00	4.00
石粉 Limestone	1.45	1.40
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.33	1.28
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.25	0.15
食盐 NaCl	0.35	0.35
预混料 Premix[1)]	0.22	0.22
氯化胆碱 Choline chloride	0.10	0.10
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.54	12.96
粗蛋白质 CP	21.50	20.00

钙 Ca	1.00	0.90
有效磷 AP	0.45	0.40
蛋氨酸 Met	0.50	0.40

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 8 000 IU，VB_1 4.2 mg，VB_2 4 mg，VB_6 4.5 mg，VB_{12} 0.02 mg，VD_3 3 000 IU，VE 20 IU，VK_3 2 mg，生物素 biotin 0.15 mg，叶酸 folic acid 1.0 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 11 mg，烟酸 nicotinic acid 10 mg，抗氧化剂 antioxidant regent 100 mg，Cu (as copper sulfate) 10 mg，Fe (as ferrous sulfate) 80 mg，Mn (as manganese sulfate) 80 mg，Zn (as zinc sulfate) 75 mg，I (as potassium iodide) 0.40 mg，Se (as sodium selenite) 0.30 mg。

2) 代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.2 试验材料及来源

试验所用姜黄素为百维素（广州科虎生物技术研发中心），姜黄素含量 10%，地衣芽孢杆菌为美国雅来制药生产的地衣芽孢杆菌（活菌总含量为 2×10^{10} CFU/g)；抗生素为速大肥（美国辉宝有限公司），含 50%维吉尼霉素。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生产性能测定

试验鸡进鸡舍时，称取其初重；在 42 日龄空腹称量末重和采食量，方法如下：称量前 1 天 20:00 断料，空腹 12 h，第 2 天 08:00 空腹称量各重复鸡重量。同时，统计各组给料量、剩余料量，以计算平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）和料重比（F/G）。

1.3.2 血清抗氧化指标测定

于试验期第 42 天，从每个重复中随机选取 1 只体重接近该重复平均体重的肉鸡，翅静脉采血，3 000 r/min 离心 15 min，－80 ℃中分装保存。血清中丙二醛（MDA）含量及超氧化物歧化酶（SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）和溶菌酶（LZM）活性均采用南京建

成生物工程研究所的试剂盒测定，按照试剂盒说明书上的要求进行操作，在酶标仪（美国 BioTech）上进行测定。

1.3.3　肠道微生物指标测定

用戊巴比妥钠稀释液（30 mg/mL）将上述取完血清的肉鸡麻醉致死。鸡处死后迅速抛开腹腔，取出肠道，置于冰上，然后用无菌棉线结扎消化道各段，分离十二指肠、空肠、回肠和盲肠。立即在冰上无菌条件下取十二指肠、空肠、回肠和盲肠中段内容物，混匀。在无菌条件下取混合均匀的内容物 0.5 g 于盛有 4.5 mL 灭菌生理盐水及玻璃珠的锥形瓶内(10^{-1}稀释)，稀释均匀后取此稀释液 0.5 mL 于盛有 4.5 mL 灭菌生理盐水试管内，依次进行 10^{-2}～10^{-7} 稀释，用于微生物数量测定。乳酸杆菌（*Lactobacillus*）、双歧杆菌（*Bacillus bifidus*）、大肠杆菌（*Escherichia coli*）和沙门氏菌（*Salmonella*）数量均采用平板计数法测定。

1.3.4　免疫器官指数指标测定

于上述麻醉致死的肉鸡中，分别采摘脾脏、胸腺、法氏囊，并剔除附着的组织，用滤纸吸干血水后称鲜重，计算免疫器官指数，计算公式如下：

免疫器官指数（%）＝（免疫器官鲜重/宰前空腹活重）×100。

1.4　数据处理

所有试验数据均采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），统计组间出现显著差异，再用 Tukey’s HSD 法进行多重比较。以 P<0.05 为差异显著判断标准，数据以“平均值±标准误”形式表示。

2　结　果

2.1　姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知，在 ADG 方面，与对照组相比，试验组均显著提高（P<0.05），D1 组显著高于 D2、D3 组（P<0.05），而与 D4 组差异不显著（P>0.05），D4 组比对照组提高了 11.33%。在 ADFI 方面，D2、D4 组显著高于对照组及 D1、D3 组（P<0.05）。在 F/G 方面，

D1 和 D4 组显著低于对照组（P<0.05），D1 组最低，但与 D4 组无显著差异（P>0.05）。在末重方面，与对照组相比，4 个试验组均显著上升（P<0.05），D1 和 D4 组分别提高了 11.59%和 10.97%；D1 和 D4 组显著高于其余 D2、D3 组（P<0.05）。

表 2　姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡生长性能的影响

Table 2　Effects of curcumin and *Bacillus licheniformis* on growth performance of broilers

组别 Groups	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G	末重 FW/g
对照 Control	51.03±1.12[a]	97.87±3.21[ab]	1.87±0.06[b]	2 251±27[a]
D1	57.29±1.31[c]	96.58±2.71[a]	1.70±0.02[a]	2 512±30[c]
D2	53.68±1.01[b]	98.19±1.78[b]	1.76±0.04[ab]	2 379±28[ab]
D3	54.14±1.27[b]	96.53±2.33[a]	1.75±0.07[ab]	2 466±40[ab]
D4	56.81±1.64[bc]	98.81±2.61[b]	1.73±0.04[a]	2 498±38[c]

同列数据肩标不同字母表示差异显著(P<0.05)，相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡血清抗氧化功能的影响

由表 3 可知，血清 MDA 含量在对照组有最大值，且显著高于 D2、D3 和 D4 组（P<0.05）。对照组和 D1 组血清 LZM 活性显著低于其余各组（P<0.05）。D1 组血清 SOD 活性最低，与对照组差异不显著(P>0.05)，D2 组最高，且显著高于前 2 组（P<0.05）。与对照组相比，试验组血清 GSH-Px 活性均有所升高，且 D2、D3、D4 组显著高于对照组（P<0.05）。

表 3　姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡血清抗氧化性能的影响

Table 3　Effects of curcumin and *Bacillus licheniformis* on serum antioxidant indexes of broilers

组别 Groups	丙二醛 MDA/(nmol/mL)	溶菌酶 LZM/(U/mL)	超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)
对照 Control	7.11±0.24[b]	116.11±0.31[a]	95.58±2.17[a]	2 766.12±50.78[a]

D1	6.74±0.25^{ab}	109.23±0.22^{a}	94.63±4.18^{a}	3 214.01±60.47^{ab}
D2	6.16±0.46^{a}	124.04±0.12^{b}	103.09±4.34^{b}	3 403.29±45.89^{b}
D3	6.13±0.28^{a}	127.01±0.56^{b}	98.33±3.21^{ab}	3 512.47±60.52^{b}
D4	5.99±0.14^{a}	127.57±0.19^{b}	101.41±3.87^{b}	3 648.61±50.14^{b}

2.3 姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡肠道微生物数量的影响

由表 4 可知，试验组肠道中乳酸杆菌数量均显著高于对照组（*P*<0.05），D2、D3、D4 组肠道中双歧杆菌数量显著高于对照组（*P*<0.05）。D1 组肠道中大肠杆菌和沙门氏菌含量最低，而 D2、D3 和 D4 组间均无显著差异（*P*>0.05）。

表 4 姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡肠道微生物数量的影响

Table 4 Effects of curcumin and *Bacillus licheniformis* on intestinal microbe counts of broilers lg(CFU/g)

组别 Groups	大肠杆菌 *Escherichia coli*	沙门氏菌 *Salmonella*	乳酸杆菌 *Lactobacillus*	双歧杆菌 *Bacillus bifidus*
对照 Control	10.25±0.14^{c}	5.34±0.23^{c}	7.88±0.21^{a}	8.28±0.21^{a}
D1	7.12±0.33^{a}	2.97±0.15^{a}	8.36±0.29^{b}	8.81±0.35^{ab}
D2	8.15±0.17^{b}	3.24±0.17^{ab}	8.75±0.24^{b}	9.51±0.26^{b}
D3	8.21±0.41^{b}	3.35±0.09^{b}	8.58±0.61^{b}	9.42±0.29^{b}
D4	7.54±0.31^{ab}	2.87±0.21^{a}	8.51±0.34^{b}	9.31±0.37^{b}

2.4 姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡免疫器官指数的影响

由表 5 可知，与对照组相比，试验组各免疫器官指数均有不同程度的提高，但除了 D4 组脾脏和法氏囊指数显著提高（*P*<0.05，分别提高了 27.27%和 57.14%）外，其余各组均无显著变化（*P*>0.05）。

表 5 姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡免疫器官指数的影响

Table 5 Effects of curcumin and *Bacillus licheniformis* on immune organ indexes of broilers %

组别 Groups	脾脏 Spleen	胸腺 Thymus	法氏囊 Bursa of Fabricius
对照 Control	0.11±0.01[a]	0.52±0.02	0.07±0.01[a]
D1	0.10±0.02[a]	0.53±0.03	0.08±0.01[a]
D2	0.11±0.02[a]	0.59±0.07	0.09±0.00[a]
D3	0.12±0.03[a]	0.54±0.05	0.08±0.01[a]
D4	0.14±0.01[b]	0.53±0.07	0.11±0.03[b]

3 讨 论

3.1 地衣芽孢杆菌和姜黄素对肉鸡生长性能的影响

目前，姜黄素作为一种植物提取物类添加剂应用于动物饲料日益普遍。本试验中，D4组与其他各组相比可显著提高肉鸡的 ADFI 和 ADG。这说明，在饲粮中单独或联合地衣芽孢杆菌使用姜黄素都可提高肉鸡的生长性能和饲料利用率。祝国强等[10]报道，姜黄素可以促使鸡腿肉中脂肪含量下降，提高肉鸡全期增重，降低 F/G。胡忠泽等[11]研究发现，在鸡饲料中添加姜黄素对鸡的摄食、生长、肉品质、产蛋率等均有有益作用。彭翔[12]和杨泰等[13]报道，姜黄素可能是通过刺激肉鸡胃肠道消化酶的产生或增强消化酶活性来提高饲料消化率及采食量，从而促进肉鸡生长性能的提高。有报道称，应激条件下，肉鸡的发育受到抑制，生长性能降低，而饲粮添加姜黄素可缓解应激对肉鸡生长产生的负面影响。Zhang 等[14]的研究发现，添加姜黄素有利于缓解应激对肉鸡产生的影响；Gowda 等[15]研究发现，饲粮添加不同水平姜黄素类物质可显著缓解黄曲霉毒素诱导的肉鸡生产性能的降低。因此，缓解应激损伤可能也是姜黄素提高肉鸡生长性能的一个重要原因。

由本试验结果可知，D3 组 ADG 显著高于对照组，这说明地衣芽孢杆菌的添加可使肉鸡生长性能显著提高。Manickam 等[16]研究认为在 6 周龄以内肉鸡饲粮中添加芽孢杆菌可以使 6 周龄体重提高 9.54%，F/G 下降 7.45%。推测这可能与肉鸡体内氮的代谢率改变有关。杨家军等[17]研究指出芽孢杆菌可以调节机体的氮代谢；Manabe 等[18]研究报道地衣芽孢杆菌

能够调节机体氮代谢的关键限速酶如黄嘌呤氧化酶和谷氨酰胺合成酶分泌量，从而影响机体的氮代谢。饲粮中添加芽孢杆菌在一定程度上有提高蛋白质和能量表观代谢率的趋势，且能促进肉鸡胸肌的持水性，提高嫩度[19]。本试验中，D2 和 D3 组 ADG 显著低于 D1 组，然而 D1 和 D4 组在没有显著差异，这说明姜黄素与芽孢杆菌的共同添效果要优于姜黄素或地衣芽孢杆菌的单独使用，这可能是由于姜黄素和地衣芽孢杆菌联合使用具有协同作用，但其作用机理仍有待进一步研究。

3.2 姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡血清抗氧化功能的影响

众所周知，SOD 对机体的氧化与抗氧化平衡起着重要作用，该酶能清除超氧阴离子自由基，保护细胞免受损伤[20]，而 MDA 含量则可反映脂质过氧化程度，间接反映细胞受损伤程度。本试验中，姜黄素和地衣芽孢杆菌的添加对肉鸡血清中 MDA 含量及过氧化氢酶（CAT）、SOD 和 GSH-Px 活性均有显著影响。胡春生等[21]研究报道人体试食姜黄素有效成分，试食组血清 SOD、GSH-Px 活性较试验前均显著提高，血清 MDA 含量降低了 1.07%，说明姜黄素对人体具有抗氧化作用。李婉雁等[22]报道在快大型岭南黄鸡饲粮中添加姜黄粉能够显著提高鸡血清中 SOD、CAT、GSH-Px 的活性，降低血清中 MDA 的含量，说明添加姜黄素后可以提高肉鸡的抗氧化功能。这可能是由于姜黄素可以部分或完全逆转氧化应激导致的细胞内谷胱甘肽（GSH）大量消耗，从而改善机体内的抗氧化功能[23]。

相关研究发现芽孢杆菌的表面抗原或它们的代谢产物通过刺激粒细胞的吞噬活动来充当免疫源，可提高动物机体的抗病力。Benyacoub 等[9]报道，芽孢杆菌能刺激机体免疫系统，提高机体免疫功能，是良好的免疫促进剂。Duc 等[24]认为芽孢杆菌进入肠道后作用于肠系膜淋巴结的淋巴组织，可以提高免疫球蛋白 G（IgG）和分泌型免疫球蛋白 A（sIgA）的水平。

3.3 姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡肠道微生物数量的影响

肠道微生物菌群是禽类消化系统的一个重要组成部分，其组成的变化会影响肉鸡的生长性能和免疫功能。本试验中，D4 组肉鸡肠道中 2 种有害菌数量与 D1 组相比没有显著差异，

2 种益生菌数量与 D1 组相比略显升高，这说明饲料中添加姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡肠道有益生效果，而对有害微生物群落显示出抑制作用。研究表明，植物提取物有很好的抗菌作用。王放银[25]研究发现，牛至芳香油有很强的抗菌活性，可防止或限制动物消化系统内的病源微生物的生长繁殖。郑召岭[26]、孙全友等[27]和钟英英等[28]研究指出，姜黄素具有广谱抗菌作用，对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和沙门氏菌等有强烈的抑制用，可以改善肠道菌群。

赵娜等[29]利用凝结芽孢杆菌饲喂肉鸡，结果表明凝结芽孢杆菌可抑制肉鸡肠道中大肠杆菌的生长，降低死淘率。齐博等[30]研究发现，枯草芽孢杆菌饲喂肉鸡可增加肉鸡盲肠中乳酸杆菌数量，维持微生物区系平衡。Teo 等[31]报道，玉米-豆粕型饲粮中添加枯草芽孢杆菌饲喂肉鸡可以降低回肠大肠杆菌数。这可能是由于致病性大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等病原菌多为耗氧菌，芽孢杆菌以孢子或活菌形式进入动物体内快速繁殖消耗局部氧气造成厌氧环境，使耗氧型有害菌不能在肠道生存，巩固有益菌的主导地位[32]。

3.4 姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡免疫器官指数的影响

动物器官的正常发育和形态完整是机体健康状态的一种表现。Fluharty 等[33]研究发现，动物饲粮的营养水平可在一定程度上影响器官的相对重量。张婧菲[34]研究指出，50 和 100 mg/kg 姜黄素可显著提高 21 日龄肉鸡的法氏囊脏重量和法氏囊指数，200 mg/kg 姜黄素可显著提高 42 日龄肉鸡的脾脏重量和脾脏指数。胡忠泽等[11]研究发现，250 mg/kg 姜黄素可显著提高肉鸡的胸腺指数，但法氏囊和脾脏指数均无显著差异。这可能是由于，动物在高密度饲养条件下，应激性大大增加，体内会累积较多氧自由基，而氧自由基连锁反应会损害动物细胞的生物膜及其功能，造成神经、组织、器官等损伤，而姜黄素可以通过清除体内的自由基改善动物自身抗氧化功能[35]，从而影响肉鸡免疫器官的生长发育。

由本试验结果可知，D4 组脾脏和法氏囊指数显著高于其他各组，然而胸腺指数没有显著上升。石宁[36]和孙小沛等[37]研究结果显示，肉鸡饲粮中添加地衣芽孢杆菌显著提高了肉

鸡胸腺和法氏囊指数，与本试验结果略有差异，推测可能是由于芽孢杆菌促进了动物免疫器官的发育，提高脾脏中 T、B 淋巴细胞的数量，激发免疫球蛋白 A（IgA）、IgG、免疫球蛋白 M（IgM）等体液免疫，以致基本达到了动物所需的免疫水平，因此胸腺指数不再上升[38]。

4 结 论

姜黄素和地衣芽孢杆菌单独或联合使用均能提高肉鸡的生长性能和免疫功能，联合使用的效果要优于单独使用，二者之间存在一定的协同作用。

参考文献：

[1] DIBAISE J K,ZHANG H S,CROWELL M D,et al.Gut microbiota and its possible relationship with obesity[J].Mayo Clinic Proceedings,2008,83(4):460–469.

[2] VERSTEGEN M W,WILLIAMS B A.Alternatives to the use of antibiotics as growth promoters for monogastric animals[J].Animal Biotechnology,2002,13(1):113–127.

[3] STANKOVIC I.61st Joint expert committee on food additives[J].Chemical and Technical Assessment,2004,1(8):1–8.

[4] SA G,DAS T.Anti cancer effects of curcumin:cycle of life and death[J].Cell Division,2008,3(1):14.

[5] PRIYADARSINI K I,MAITY D K,NAIK G H,et al.Role of phenolic O-H and methylene hydrogen on the free radical reactions and antioxidant activity of curcumin[J].Free Radical Biology and Medicine,2003,35(5):475–484.

[6] MIRIYALA S,PANCHATCHARAM M,RENGARAJULU P.Cardioprotective effects of curcumin[C]//AGGARWAL B B,SURH Y J,SHISHODIA S.The molecular targets and therapeutic uses of curcumin in health and disease.Boston:Springer,2007:359–377.

[7] HATCHER H,PLANALP R,CHO J,et al.Curcumin:from ancient medicine to current clinical trials[J].Cellular and Molecular Life Sciences,2008,65(11):1631–1652.

[8] 张菊,李金敏,张志焱,等.地衣芽孢杆菌的研究进展[J].中国饲料,2012(17):9–11.
[9] BENYACOUB J,CZARNECKI-MAULDEN G L,CAVADINI C,et al.Supplementation of food with *Enterococcus faecium* (SF68) stimulates immune functions in young dogs[J].The Journal of Nutrition,2003,133(4):1158–1162.
[10] 祝国强,侯风琴.姜黄素对肉仔鸡日增重、脂质代谢、肉品质的影响[J].饲料博览,2006(2):49–51.
[11] 胡忠泽,金光明,王立克,等.姜黄素对肉鸡生产性能和免疫机能的影响[J].粮食与饲料工业,2004(10):44–45.
[12] 彭翔.抗菌肽和姜黄素对肉仔鸡生长性能、抗氧化功能、肠道微生物及免疫功能的影响[J].硕士学位论文.郑州:河南农业大学，2014.
[13] 杨泰,王慧,田科雄,等.姜黄素的生理功能及其在畜禽生产中的应用[J].动物营养学报,2017,29(10):3460－3466.
[14] ZHANG J F,HU Z P,LU C H,et al.Dietary curcumin supplementation protects against heat-stress-impaired growth performance of broilers possibly through a mitochondrial pathway[J].Journal of Animal Science,2015,93(4):1656–1665.
[15] GOWDA N K S,LEDOUX D R,ROTTINGHAUS G E,et al.Antioxidant efficacy of curcuminoids from turmeric (*Curcuma longa* L.) powder in broiler chickens fed diets containing aflatoxin B_1[J].British Journal of Nutrition,2009,102(11):1629–1634.
[16] MANICKAM R,VISWANATHAN K,MOHAN M.Effect of probiotics in broiler performance[J].Indian Veterinary Journal,1994,71(7):737–739.
[17] 杨家军,钱坤,章薇,等.地衣芽孢杆菌对肉鸡生产性能,抗氧化及营养物质代谢的影响研究[J].中国兽医学报,2014,34(5):736－739.
[18] MANABE K,KAGEYAMA Y,MORIMOTO T,et al.Improved production of secreted

heterologous enzyme in *Bacillus subtilis* strain MGB874 via modification of glutamate metabolism and growth conditions[J].Microbial Cell Factories,2013,12(1):18.

[19] 利明.日粮中添加芽孢杆菌对肉仔鸡生产性能和免疫功能影响的研究[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古大学,2009:37–39.

[20] WEI X B,LIU H Q,SUN X,et al.Hydroxysafflor yellow A protects rat brains against ischemia-reperfusion injury by antioxidant action[J].Neuroscience Letters,2005,386(1):58–62.

[21] 胡春生,陈炜林,易传祝,等.姜黄素抗氧化作用人体试食研究[J].湖南中医药大学学报,2007,27(5):63–64.

[22] 李婉雁,陈国开,庞木生,等.姜黄粉对岭南黄鸡生产性能、免疫器官指数和抗氧化能力的影响[J].仲恺农业工程学院学报,2010,23(3):36–39.

[23] SOOD P K,NAHAR U,NEHRU B.Curcumin attenuates aluminum-induced oxidative stress and mitochondrial dysfunction in rat brain[J].Neurotoxicity Research,2011,20(4):351–361.

[24] DUC L H,HONG H A,BARBOSA T M,et al.Characterization of *Bacillus* probiotics available for human use[J].Applied and Environmental Microbiology,2004,70(4):2161–2171.

[25] 王放银.用草药和植物提取物作生长促进剂[J].湖南饲料,2000(3):24–26.

[26] 郑召岭.姜黄素抗炎及免疫调节作用研究进展[J].山西中医,2008,24(3):48–49.

[27] 孙全友,魏凤仙,李绍钰.姜黄素在肉鸡生产中的应用[J].中国家禽,2013,35(6):54–56.

[28] 钟英英,黄晓畅,陈世益.姜黄素的体外抑菌活性研究[J].安徽农业科学,2010,38(34):19369–19370,19377.

[29] 赵娜,申杰,魏金涛,等.凝结芽孢杆菌对肉鸡生长性能、免疫器官指数、血清生化指标及肠道菌群的影响[J].动物营养学报,2017,29(1):249–256.

[30] 齐博,武书庚,王晶,等.枯草芽孢杆菌对肉仔鸡生长性能、肠道形态和菌群数量的影响[J].

动物营养学报,2016,28(6):1748－1756.

[31] TEO A Y,TAN H M.Evaluation of the performance and intestinal gut microflora of broilers fed on corn-soy diets supplemented with *Bacillus subtilis* PB6 (CloSTAT)[J].The Journal of Applied Poultry Research,2007,16(3):296–303.

[32] 何明清.动物微生态学[M].北京:中国农业出版社,1994:69.

[33] FLUHARTY F L,MCCLURE K E,SOLOMON M B,et al.Energy source and ionophore supplementation effects on lamb growth,carcass characteristics,visceral organ mass,diet digestibility,and nitrogen metabolism[J].Journal of Animal Science,1999,77(4):816–823.

[34] 张婧菲.姜黄素对动物线粒体氧化损伤的保护作用及其抗氧化机制研究[D].博士学位论文.南京:南京农业大学,2015:72－73.

[35] 狄建彬,顾振纶,赵笑东,等.姜黄素的抗氧化和抗炎作用研究进展[J].中草药,2010,41(5):854－857.

[36] 石宁.地衣芽孢杆菌和低聚木糖及乳酸对肉鸡肠绒组织及肠道菌群的影响[D].硕士学位论文.郑州:河南工业大学,2010:46–48.

[37] 孙小沛,杨在宾,李兆勇,等.地衣芽孢杆菌与日粮蛋白水平对肉鸡生产性能、肠道环境及免疫器官指数的影响[J].饲料工业,2013,34(23):40–46.

[38] 李福彬.地衣芽孢杆菌的理化特性及对蛋鸡生产性能影响机理的研究[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2010:30–33.

Effects of Curcumin and *Bacillus licheniformis* on Growth Performance, Serum antioxidant Function, Intestinal Microbe Counts and Immune Organ Indexes of Broilers[1]

SUN Quanyou LI Wenjia* XU Bin WEI Fengxian WANG Linyi LIN Ping LI Shaoyu**

(*Institute of Animal Husbandry and Veterinary Science*, *Henan Academy of Agricultural Sciences*, *Zhengzhou* 450002, *China*)

Abstract： This experiment was conducted to determine the effects of curcumin and *Bacillus licheniformis* on growth performance, serum antioxidant function, intestinal microbe counts and immune organ indexes of broilers. A total of 450 Arbor Acres（AA） broilers at one day age were randomly divided into 5 groups with 6 replicates per group and 15 broilers per replicate. The broilers of control group were fed a basal diet, and those in experimental groups were fed the basal diet supplemented with 35 mg/kg antibiotic (D1 group), 200 mg/kg curcumin (D2 group), 100 mg/kg *Bacillus licheniformis* (D3 group) and 100 mg/kg *Bacillus licheniformis*+200 mg/kg curcumin (D4 group), respectively. The experiment lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) compared with control group, average daily gain (ADG) of experimental groups was significantly increased ($P<0.05$); ADG and final weight of D1 group were significantly higher than those of D2 and D3 groups ($P<0.05$), but had no significant differences compared with D4 group ($P<0.05$); feed to gain ratio of D1 and D4 groups was significantly lower than that of control group ($P<0.05$). 2) Compared with D1 group and control group, serum activities of lysozyme (LZM), superoxide dismutase (SOD) （except D3 group） and glutathione peroxidase (GSH-Px) were significantly increased in D2, D3 and D4 groups ($P<0.05$); serum malondialdehyde (MDA) content of D2, D3 and D4 groups was significantly lower than that of control group ($P<0.05$). 3) Compared with control group, the counts of *Lactobacillus* and *Bacillus bifidus* in intestinal of D4 group were significantly increased ($P<0.05$), but there were no significant differences among experimental groups ($P>0.05$); the counts of *Escherichia coli* and *Salmonella* in intestinal of D1 and D4 groups were significantly decreased ($P<0.05$). 4) Compared with control group, spleen and bursa of Fabricius indexes of D4 group were significantly increased ($P<0.05$). The results indicate that the addition of curcumin and *Bacillus licheniformis* alone or combined in diets can improve growth performance, immune function and intestinal

microbial environment of broilers, and the combination effect is better than alone effect, which suggests a synergistic reaction between them.

Key words: broiler; curcumin; *Bacillus licheniformis*; immune organ; intestinal microbe

---

*Corresponding author, professor, E-mail: lsy9617@aliyun.com

（责任编辑　王智航）